

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3832450 A1

51 Int. Cl. 4:  
H01L 21/76  
H 01 L 21/318  
H 01 L 21/316

21 Aktenzeichen: P 38 32 450.4  
22 Anmeldetag: 23. 9. 88  
43 Offenlegungstag: 27. 4. 89

JP 02-001123

behördeneigentlich

DE 3832450 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
19.10.87 US 110245

71 Anmelder:  
NCR Corp., Dayton, Ohio, US

74 Vertreter:  
Kahler, K., Dipl.-Ing., 8948 Mindelheim; Käck, J.,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 8910  
Landsberg

72 Erfinder:  
Lee, Steven Shao-Lun; Allman, Derryl Dwayne John,  
Colorado Springs, Col., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Bilden von Feldoxidbereichen in einem Siliziumsubstrat

Ein Verfahren zum Bilden eines Feldoxidbereichs in einem Siliziumsubstrat umfaßt die Schritte: Ablagern einer 13 bis 15 nm dicken Schicht von Siliziumdioxid und Unterwerfen der abgelagerten Schicht einer thermischen Nitrierung unter Aussetzen einer Strahlungsquelle in einer nitrierenden Umgebung, etwa Ammoniak, um eine graduell zusammengesetzte Oxinitridschicht zu bilden. Als nächstes wird eine aus einer LPCVD-Nitridschicht bestehende Oxidationsmaske abgelagert, worauf der Feldoxidbereich durch selektives Ätzen in die Substratfläche und Oxidation erzeugt wird. Das Verfahren bringt eine erhebliche Ausschaltung eines »Vogelschnabel«-Eingriffs, während für das maskierende Siliziumnitrid eine Spannungsisolierung aufrechterhalten wird. Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel wird eine ursprüngliche Oxidschicht mit einer Dicke von 1 bis 3 nm einer raschen thermischen Nitrierung unterworfen und mittels LPCVD-Techniken wird eine zusammengesetzte Maskierungsschicht darauf abgelagert.

DE 3832450 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bilden von Feldoxidbereichen in einem Siliziumsubstrat.

Das bekannte LOCOS-Verfahren (lokale Oxidation von Silizium) zum Bilden teilweise vertiefter Feldoxidbereiche in einem Siliziumsubstrat unter Ausnutzung der lokalen Oxidationstechnologie verwendet eine verhältnismäßig dicke Siliziumnitridschicht als Oxidationsmaske zusammen mit einer verhältnismäßig dünnen Schicht eines sogenannten Puffer- oder Anschlußfeldoxid zwischen dem Silizium und dem Nitrid. Das Pufferoxid dient dazu, die Beanspruchungen zu verringern, die sonst an der Schnittstelle zwischen dem Siliziumsubstrat und der Siliziumnitridschicht auftreten. Derartige Beanspruchungen, insbesondere Spannungen können sich auf Grund von Differenzen im Wärmeausdehnungskoeffizienten ergeben und haben die Neigung, in den aktiven Bereichen des Siliziumsubstrats Kristalldefekte zu erzeugen.

Ein Nachteil im Zusammenhang mit dem bekannten lokalen Oxidationsverfahren ist das sogenannte "Vogelschnabel"-System, das heißt das Eingreifen der Feldoxidschichten in unter der maskierenden Siliziumnitridschicht liegende Bereiche, wodurch die aktive Vorrichtungsfläche und damit die Vorrichtungsichte beschränkt wird, die erzielbar ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfaches Verfahren zum Bilden von Feldoxidbereichen in einem Siliziumsubstrat anzugeben, bei dem sowohl eine "Vogelschnabel"-Bildung als auch die Bildung von Substratkristalldefekten minimiert wird.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch die Merkmale des Kennzeichens des Patentanspruchs 1.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bewirkt das rasche thermische Ausglühen mittels einer Strahlungsquelle in einer nitrierenden Umgebung eine rasche thermische Nitrierung einer dünnen Siliziumdioxidschicht, die über dem Siliziumsubstrat liegt. Die Kürze und Größe des Hochtemperaturzyklus erzeugt einen vorübergehenden Temperaturgradienten in dem Siliziumdioxid und damit einen Oxid/Oxidnitrid-Zusammensetzungsgradienten in den nitrierten Siliziumdioxidschichten während Rückverteilungseffekte des Substratdotanden minimiert werden. Die Umwandlung der dünnen Puffer-siliziumdioxidschicht in eine zusammengesetzte Schicht puffert die Differenz im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der Siliziumnitridmaskenschicht und dem Siliziumsubstrat, während der Pfand für die sauerstoffartige Diffusion während der nachfolgenden Feldoxid-aufwachsvorgänge im wesentlichen eliminiert wird.

Bevorzugte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung zweier Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen

Fig. 1A-5A schematische Querschnittansichten durch ein Siliziumsubstrat unter Veranschaulichung der Verfahrensstufen gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung und

Fig. 1B-5B schematische Querschnittansichten durch ein Siliziumsubstrat zur Veranschaulichung der Verfahrensstufen gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Es wird nun auf die Folge von Verfahrensschritten

Bezug genommen, die mit Fig. 1A beginnt. Dort ist ein monokristallines Siliziumsubstrat 1 gezeigt, auf dem vorzugsweise durch Wärmeoxidation eine verhältnismäßig dünne, nominal 13 bis 15 nm dicke Siliziumdioxidschicht 2 aufgebracht ist. Die dünne Oxidschicht 2 ist die übliche Anschlußfeld- oder Pufferschicht, die die Oberfläche 3 des Siliziumsubstrats 1 von Spannungen isoliert, die sonst durch die Siliziumnitridschicht 4 (Fig. 3A) verursacht werden. Es ist allgemein anerkannt, daß die direkte Ausbildung einer Siliziumnitridschicht 4 durch chemische Niederdruckdampfablagerung (LPCVD) auf der Oberfläche 3 des Siliziumsubstrats 1 zu Substratversetzungen an der Oberfläche 3 in einem Ausmaß führt, das die Funktionsfähigkeit von in dem Siliziumsubstrat an diesen Stellen gebildeten aktiven Vorrichtungen reduziert. Einen wesentlichen Beitrag zu derartigen Spannungen geht auf die Differenz im Wärmeausdehnungskoeffizienten zurück. Andererseits ist aber auch erkannt worden, daß die Einfügung eines Pufferoxids 2 zwischen der Nitridschicht und der Substratoberfläche zu einer Diffusion von Sauerstoffen längs des Oxids in Bereiche unter der maskierenden LPCVD-Nitridschicht in einer Weise und einem Ausmaß führt, die ein Entstehen eines "Vogelschnabels" bewirken mit einem Eingriffsverhältnis in einem Bereich von 0,3 bis 0,4.

Im gesamten Verfahren folgt als nächstes der in Fig. 2A veranschaulichte Schritt, der eine Einleitung eines raschen thermischen Glühens in einer Ammoniakumgebung beinhaltet, was allgemein als rasche thermische Nitrierung bezeichnet sei und dazu dient, die Pufferoxidschicht 2 in eine Oxidnitridschicht 6 umzuwandeln. Die kurze Dauer der thermischen Nitrierung erzeugt einen Temperaturgradienten durch das Pufferoxid 2 und das Siliziumsubstrat 1, wodurch eine Graduierung der Oxid- und Oxinitridzusammensetzung in der Schicht 6 erreicht wird.

Über die Dicke des Oxids 2 gesehen, wird die Stickstoffkonzentration an der Grenzfläche am höchsten sein, wo die Oxidschicht 2 mit dem Siliziumsubstrat 1 zusammentrifft. Der Stickstoff wird auf diese Grenzflächen durch die in dem Oxid 2 induzierten Spannungsdifferenzen gegettert, die den für den Stickstoff vorhandenen Atompegelraum erhöhen. Dickere Schichten des Oxids 2 würden normalerweise höhere Stickstoffkonzentrationen sowohl an der Grenzfläche mit dem Siliziumsubstrat 1 als auch an der äußeren Fläche 5 aufweisen. Die dünnere Oxidschicht 2 mit Oxid in der Dicke von 10 nm oder weniger würde nach der hier beschriebenen raschen thermischen Nitrierung verhältnismäßig homogen sein.

Die rasche thermische Nitrierung wird vorzugsweise durchgeführt unter Verwendung einer Strahlungsenergiequelle in Form einer Wolframhalogenlampe, die angeordnet und betrieben wird, um eine Temperatur von etwa 1150°C an der Oberfläche 5 für 180 s zu erzeugen. Die Umgebung während des thermischen Zyklus ist eine reine Ammoniakatmosphäre bei atmosphärischem Druck.

Eine derartige rasche thermische Nitrierung wandelt die Pufferoxidschicht 2 in ein graduelles oder abgestuftes Oxinitrid 6 um, ohne daß das Siliziumsubstrat 1 für eine längere Zeit einer erhöhten Temperatur ausgesetzt wird.

Nach der raschen thermischen Nitrierung gemäß Fig. 2A wird die Oxinitridschicht 6 mit einer LPCVD-Siliziumnitridschicht 4 bedeckt, die bis zu einer Dicke von 100 nm abgelagert wird. Hiernach wird die in Fig. 3A dargestellte Struktur fotografisch verarbeitet, um ein

Muster von maskierendem Fotoresistmaterial zu bilden, und nachfolgend einer anisotropen Ätzung unterworfen, um selektiv die belichtete Fläche des LPCVD-Nitrids 4, der Oxinitridschicht 6 und nominal 30 nm des Siliziumsubstrats 1 zu entfernen. Die Ätzung des Substrats 1 erzeugt eine Vertiefung 8 (Fig. 4A). Der Ätzvorgang wird vorzugsweise unter Verwendung einer gleichzeitigen reaktiven Ionenätzung durchgeführt, um die Bildung von im wesentlichen senkrechten Wänden in der so gebildeten Vertiefung zu gewährleisten. Beispielsweise kann die Ätzung durchgeführt werden mittels einer hochfrequent erregten Plasmaätzanordnung bei einem Druck von etwa 25 mTorr unter Verwendung  $\text{CHF}_3/\text{O}_2$ -Gas.

Es folgt nun das Aufwachsen des Feldoxids, vorzugsweise in einer feuchten Sauerstoffumgebung bei einer Temperatur von etwa  $950^\circ\text{C}$  für eine Zeit von etwa 450 Minuten. Nach dem üblichen Abstreifen des LPCVD-Nitrids 4 und der Oxinitridschicht 6 unter Verwendung von kochender  $\text{H}_3\text{PO}_4$ -Säure oder RIE-Plasmaätzung in  $\text{CHF}_3/\text{O}_2$  oder einer feuchten Ätzung mit  $10:1 \text{ NH}_4\text{F}:\text{HF}$  ergibt sich ein Aussehen des Feldoxids 9 (Fig. 5A), das sowohl relativ eben ist als auch keine größeren "Vogelschnabel"-Eigenschaften aufweist. Die Dicke des so gebildeten Feldoxids ist nominal 700 nm, während für die Verfahrensfolge "A" der Eingriff, nämlich das Verhältnis zwischen der Vogelschnabellänge und der Feldoxididicke als nominal 0,1 festgestellt wurde. Die Pufferschichtisolation bzw. die Pufferwirkung des Oxinitrids 6 gewährleistet, wie bereits früher bemerkt, daß aktive Bereichsflächen 11 des Substrats 1 frei bleiben von Versetzungen in einem Ausmaß, das nun erforderlich ist für aktive Feldeffekt- oder polare Vorrichtungen mit ausgezeichnete Wirkungsweise im Submikrometerbereich.

Zu beachten ist, daß die außerordentlichen Verbesserungen in der "Vogelschnabel"-Unterdrückung erreicht wurden durch Einfügen eines einzigen Verfahrensschrittes, der äußerst gut in die Herstellungsverfahrensfolge paßt und aktualisiert wird durch eine ausgewählte Kombination von raschen thermischen Nitrierungsbedingungen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßigen Verfahrens ist in der Folge der mit "B" markierten Figuren dargestellt. Die Herstellung beginnt gemäß Fig. 1B mit einem Siliziumsubstrat 1, auf dem sich eine sehr dünne gediegene, jungfräuliche Siliziumdioxidschicht 21 befindet. Diese Oxidschicht 21 ist nominal 1 bis 3 nm dick und kann, wie der Name sagt, eine natürlich gebildete Schicht sein oder durch kurze Oxidation des Siliziumsubstrats 1 erzeugt sein. Es wird nun gemäß Fig. 2B ein rasches thermisches Ausglühen in einer Stickstoff- oder Ammoniakatmosphäre durchgeführt, um das ursprüngliche Oxid 21 in eine dünne Oxinitridschicht 22 zu verwandeln.

Die rasche thermische Nitrierung wird vorzugsweise unter Verwendung einer Wolframhalogenlampe durchgeführt, die derart betrieben wird, daß auf der Oberfläche des Oxids 21 eine Temperatur von etwa  $1150^\circ\text{C}$  für die Dauer von etwa 40 s erzeugt wird, während die Kammer einem Stickstoff- oder Ammoniakgasfluß von etwa 1,41 pro Minute bei atmosphärischem Druck ausgesetzt wird. Die Oxinitridschicht 22 bleibt bei ihrer ursprünglichen Dicke von 1 bis 3 nm.

Der raschen thermischen Nitrierung folgt die Herstellung gemäß der allgemeinen Folge von Verfahrensschritten in dem SILO-Verfahren mit der Bildung einer LPCVD-Siliziumnitridschicht 23 bis zu einer nominalen

Dicke von 15 bis 18 nm, einer nächstfolgenden Bildung einer Plasma-CVD- oder Niedertemperatur-Oxidschicht 24 (LTO) bis zu einer nominalen Dicke von 35 bis 40 nm und einer abschließenden Bildung einer Schicht von LPCVD-Siliziumnitrid 26 bis zu einer Dicke von 100 nm.

Diese kombinierte Struktur gemäß Fig. 3B wird als nächstes einer fotolithografischen Verarbeitung unterworfen unter Verwendung von Fotoresistmaterial und einer vorzugsweisen reaktiven Ionenätzung, in einer Weise wie dies zuvor beschrieben wurde, um Feldoxidbereiche des Siliziumsubstrats 1 freizulegen, wie dies allgemein in Fig. 4B veranschaulicht ist. Man beachte, daß in dem Siliziumsubstrat 1 wiederum eine Vertiefung ausgebildet wird bis zu einer nominalen Tiefe von 30 nm unter der Oberfläche 3 des Siliziumsubstrats 1. Wie es charakteristisch für eine reaktive Ionenätzung ist, ergeben sich wiederum im wesentlichen vertikale Wände der aufeinanderfolgenden Schichten 22, 23, 24 und 25 sowie 27 des Siliziumsubstrats 1.

Das Siliziumsubstrat 1 gemäß Fig. 1B wird als nächstes einer Oxidation in einer feuchten Sauerstoffumgebung bei einer Temperatur von etwa  $950^\circ\text{C}$  für eine Dauer von etwa 450 Minuten ausgesetzt, um einen Feldoxidbereich 28 (Fig. 5B) mit einer nominalen Dicke von etwa 700 nm zu bilden. Die mehrfachen und verhältnismäßig dicken Schichten von LPCVD-Nitrid 23 und 26 sind ausreichend starr, um ein Ablösen der zusammengesetzten Maskierungsschicht während der Oxidation zu unterdrücken und weiterhin irgendwelche "Vogelschnabel"-Effekte zu begrenzen, wie dies in Fig. 5B veranschaulicht ist. Das wirksame Fehlen des "Vogelschnabels" ist wiederum äußerst wesentlich für die deutliche Unterdrückung irgendwelcher Sauerstoffdiffusionen längs der Pufferoxinitridschicht 22 (Fig. 4B).

Fig. 5B veranschaulicht den Querschnitt des entsprechenden Feldoxidbereichs 28, worauf ein übliches Abstreifen der Maskenschichten 22, 23, 24 und 26 zur Freilegung von Flächen 29, nämlich der aktiven Bereiche des Siliziumsubstrats 1 folgt.

Auf Grund der Pufferwirkung der dünnen Oxinitridschicht 22 wird eine Beschädigung der Siliziumsubstratfläche 29 vermieden. Die sehr dünne Oxinitridschicht 22 ist ausreichend stark, um Differenzen im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der LPCVD-Nitridschicht 23 und dem Siliziumsubstrat 1 zu entkoppeln. Die dicke LPCVD-Nitridschicht 26 wird in gleicher Weise durch die Oxidschicht 24 gepuffert. Der Eingriff des Feldoxids in den aktiven Bereich ist für diese Verfahrensschrittfolge wirksam vernachlässigbar; ein Vergleich zeigt jedoch, daß das Feldoxid 28 weniger eben ist als das Feldoxid 9 des ersten Ausführungsbeispiels (Fig. 5A) mit dem relativ steilen Anstieg des Feldoxids 28 unmittelbar in der Nähe der Oberfläche 29 des aktiven Bereichs.

Zu beachten ist wiederum die außerordentliche Unterdrückung des "Vogelschnabels".

Die Temperatur- und Zeitbedingungen für die rasche thermische Nitrierung mit Strahlungsenergie sind in der Praxis nicht beschränkt auf diejenigen Werte, die im Zusammenhang mit den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen angegeben wurden. Beispielsweise kann in Betracht gezogen werden, daß für außerordentlich dünne Oxide kurze Zeitintervalle, die sich 10 s nähern, mit Oberflächentemperaturen, die sich  $1250^\circ\text{C}$  nähern gearbeitet wird. Bei dem entgegengesetzten Extrem ist es möglich für verhältnismäßig dicke Pufferoxidschichten Temperaturen im Bereich von  $900^\circ\text{C}$  für bis zu 30 Minuten zu verwenden. Die genaue Kombina-

tion von Bedingungen sollten unter Berücksichtigung dessen gewählt werden, daß eine Strahlungsenergiequelle mit hoher Intensität und kurzer Dauer auf die Oberfläche der Oxidschichten 3 bzw. 21 gerichtet wird, mit der Absicht einen Übergangstemperaturgradienten mit einem zugeordneten Spannungsgradienten zu erzeugen, der die Nitrierung des freigelegten Oxids erleichtert. Diese Bedingungen stehen im deutlichen Gegensatz zu der Offennitrierung für mehrere Stunden, wobei der allmähliche Temperaturanstieg und Temperaturabfall bereits sich über zwei bis drei Stunden erstreckt. Eine übliche Ofenbehandlung des Substrats leitet auch an unerwünschter Oxidation, abgesehen von der zuvor erforderlichen Reinigung der Kammer, auf Grund der verhältnismäßig langen Temperaturanstiegszeit, der niedrigeren Temperatur, bei der die Oxidation verglichen mit der Nitrierung beginnt und der Sauerstoffanteile, die zwangsläufig aus dem Wasser vorhanden sind und zuvor von dem Siliziumsubstrat absorbiert werden.

Der Fachmann erkennt zweifellos, daß eine rasche thermische Nitrierung von dünnen Siliziumdioxidpufferschichten zur Unterdrückung einer seitlichen Diffusion von Sauerstoffanteilen während der Feldoxidbildung mit gleichzeitiger Pufferung vergleichbar mit dem ursprünglichen Siliziumdioxid bei einer Vielzahl von Halbleiterherstellungsverfahren anwendbar ist, die Siliziumsubstrate verwenden, einschließlich polykristalliner oder amorpher Formen von Silizium.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden eines Feldoxidbereichs in einem Siliziumsubstrat, gekennzeichnet durch die Schritte:

- Bilden einer Siliziumdioxidschicht (2, 21) auf dem Siliziumsubstrat (1);
- Unterwerfen der Siliziumdioxidschicht (2, 21) einer Nitrierungsatmosphäre, während die Siliziumdioxidschicht (2, 21) einer Quelle von strahlender Energie mit einer Intensität ausgesetzt wird, die zu Nitrierung des Siliziumdioxids und zur Erzeugung eines thermischen Übergangsgradienten durch die Siliziumdioxidschicht geeignet ist;
- Bilden einer Oxidationsmaskierungsschicht (4; 23, 24, 26) mit mindestens einer Schicht aus Siliziumnitrid (4; 23, 24) über der nitrierten Siliziumdioxidschicht (6; 22);
- Ätzen der Oxidationsmaskierungsschicht (4; 23, 24, 26) und der nitrierten Siliziumdioxidschicht (6; 22), um selektiv Bereiche des Siliziumsubstrats (1) freizulegen; und
- Oxidieren des freigelegten Siliziumsubstrats in Gegenwart der Oxidationsmaskierungsschicht (4; 23, 24, 26), um einen Feldoxidbereich (9; 28) zu bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle von Strahlungsenergie eine Siliziumdioxidoberflächen-Temperatur im Bereich von etwa 900°C bis etwa 1250°C erzeugt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Bestrahlung mit der Quelle von Strahlungsenergie im Bereich von etwa 10 bis etwa 1800 Sekunden liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nitrierungsumgebung ein Ammoniakoder Stickstoffgas

ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzen zur Bildung einer Vertiefung (18; 27) in dem Siliziumsubstrat (1) fortgesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidationsmaskierungsschicht aus einer einzigen Schicht von Siliziumnitrid (4) besteht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidationsmaskierungsschicht aus einer ersten Siliziumnitridschicht (23), einer Schicht aus Siliziumdioxid (24) und einer zweiten Siliziumnitridschicht (26) besteht.

3832450

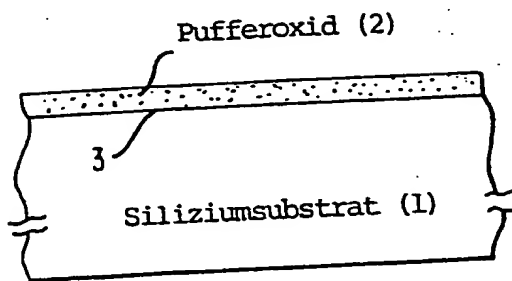


FIG. 1A

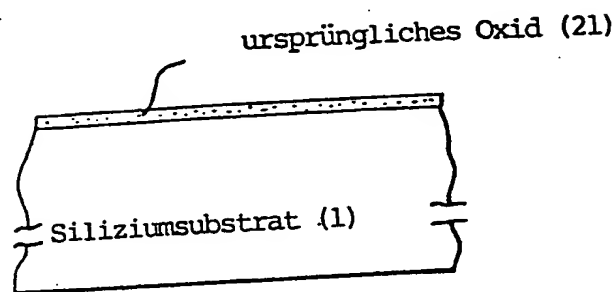


FIG. 1B

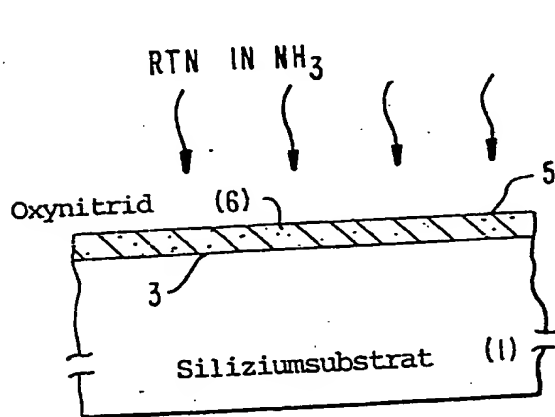


FIG. 2A

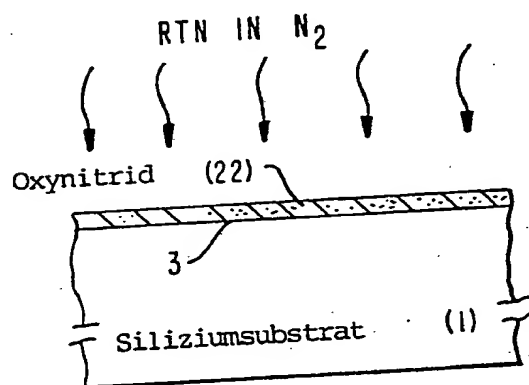


FIG. 2B

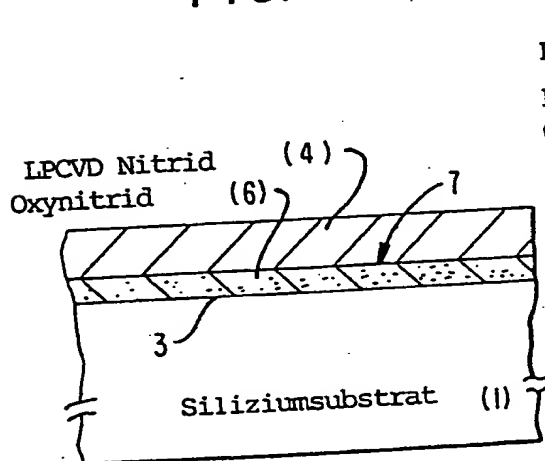


FIG. 3A

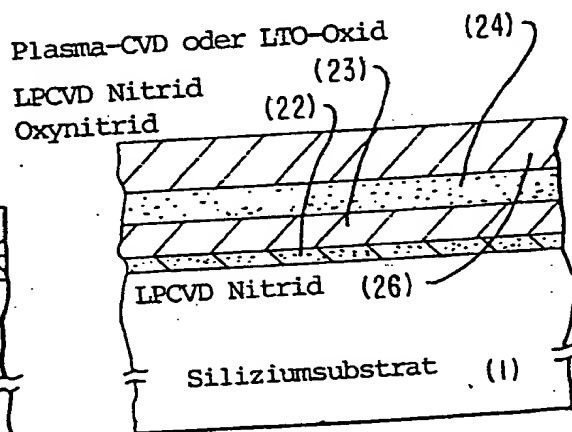


FIG. 3B

12

\*

3832450

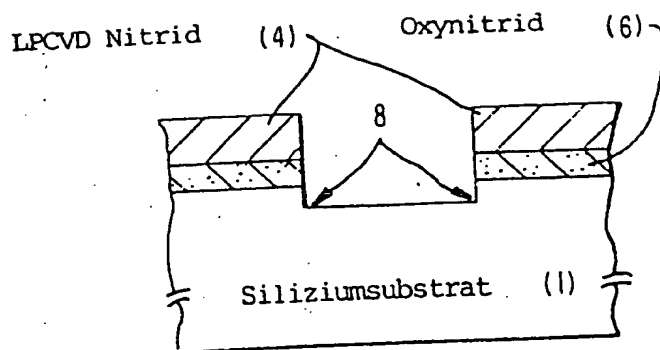


FIG. 4A

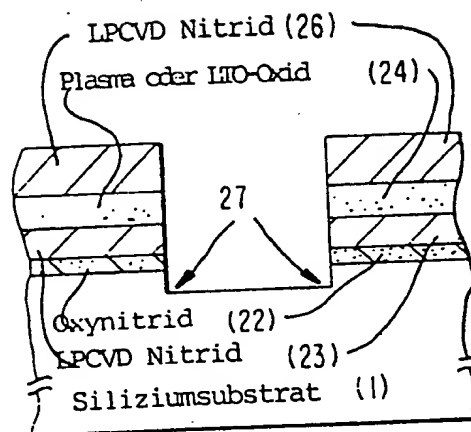


FIG. 4B

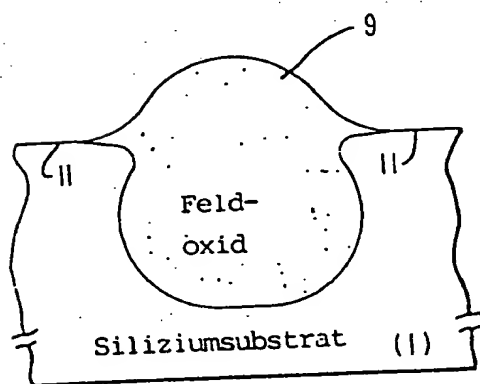


FIG. 5A

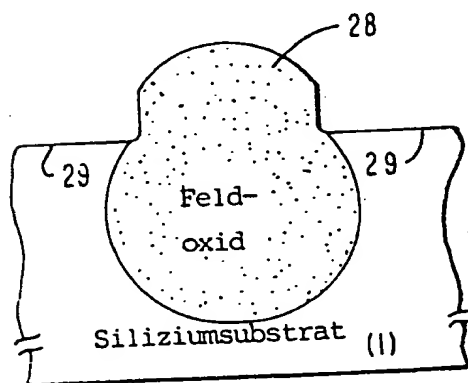


FIG. 5B